

مقایسه تطبیقی اثر جریان هوا بر دو گونه ی بادگیر یزدی و کرمانی*

محمد جواد مهدوی نژاد**^۱، کاوان جوانرودی^۲

^۱ استادیار گروه معماری دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد معماری-گرایش فنی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
 (تاریخ دریافت مقاله: ۹۰/۴/۱۸، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۰/۹/۵)

چکیده:

این مقاله به مقایسه تطبیقی اثر جریان هوا بر دو گونه ی بادگیر یزدی و کرمانی می پردازد. هدف پژوهش بررسی نحوه تأثیر جهت گیری دهانه بادگیر بر تهویه طبیعی و همچنین مقایسه بهره وری اقلیمی دو گونه مذکور در زمینه خاص خود می باشد. روش تحقیق استفاده از مدل سازی رایانه ای و شبیه سازی عددی بوده است و نتیجه گیری با استفاده از استدلال منطقی صورت گرفته است و همچنین روش جمع آوری اطلاعات روش مطالعه منابع کتابخانه ای است. به این منظور ابتدا دو بادگیر در محیط نرم افزار Vasari autodesk 2.0 مدل سازی شده اند و سپس هر بادگیر جداگانه در مشخصات اقلیم خود آزمایش شده است و در نهایت نتایج به صورت تصاویر شبیه سازی و نمودارها مستخرج شده اند. نتایج نشان می دهند در استفاده از دو گونه بادگیر دو طرفه و چهار طرفه، افزایش توان برودتی و کارایی بهینه یکی از مهم ترین اصول بوده است به نحوی که در بادگیر یزدی این اصل در طول چهار فصل سال حاکم است در حالی که این نسبت در بادگیر کرمانی فقط در طول تابستان صادق است. این مقاله نشان می دهد که می توان از تکنیک های تهویه طبیعی در این بادگیرها استفاده شده است، در طراحی معماری بناهای امروزی نیز استفاده کرد تا بدین وسیله از میراث ارزشمند علم و هنر ایرانی در معماری معاصر بی نصیب نماند.

واژه های کلیدی:

بادگیر، شبیه سازی رایانه ای، جریان هوا، تونل باد مجازی.

* این مقاله برگرفته از بخشی از مباحث پژوهشی پایان نامه کارشناسی ارشد جناب آقای کاوان جوانرودی می باشد که به راهنمایی نگارنده اول و مشاوره جناب آقای دکتر محمدرضا بمانیان در دانشکده هنر و معماری دانشگاه تربیت مدرس در دست انجام است.
 ** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱-۸۲۸۳۷۳۹، نماین: ۰۲۱-۸۸۰۰۸۰۹۰، E-mail: Mahdavinejad@modares.ac.ir

مقدمه

مواد طبیعی مانند کاهگل، ساختن طاق‌ها و گنبد‌ها و در نهایت بادگیر، ارائه نموده است. هماهنگی میان بخش‌های مختلف سازه، تاسیسات و طراحی معماری، از جلوه‌های تحقق حکمت معماری اسلامی در معماری سنتی ایران است (مهدوی نژاد، ۱۳۸۳، ۵۸). همچنین استفاده از جریان طبیعی هوا به عنوان ابزاری برای ارتقای آسایش اقلیمی، یکی از تدابیری است که در معماری سنتی ایران از سابقه‌ای طولانی برخوردار است (Mahdavinejad et al., 2011, 1142).

یکی از اجزای بناهای بومی ایران در اقلیم گرم بادگیر است که به عنوان یک سیستم سرمایشی ایستا، تهویه مطبوع را با استفاده از انرژی تجدیدپذیر باد فراهم آورده است. بادگیر به عنوان بارزترین نمونه تهویه طبیعی ساختمان در معماری سنتی ایران محسوب می‌شود و سبب سهولت تهویه طبیعی در شهرها و روستای کویری گردیده است (تصویر ۱). با این رویکرد، این مقاله به مقایسه تطبیقی اثر جریان هوا بر دو گونه‌ی بادگیر یزدی و کرمانی با استفاده از شبیه‌سازی در تونل مجازی باد، می‌پردازد. این درحالی است که تمامی مطالعات و پژوهش‌های انجام شده در حیطه رفتارشناسی بادگیرها به بررسی جریان هوای ورودی به بادگیر و اندازه‌گیری دمای هوا در طول ارتفاع بادگیر با استفاده از مدلسازی ریاضی و ساخت مدل انتزاعی در تونل‌های باد در مقیاس آزمایشگاهی پرداخته‌اند. لیکن این پژوهش به نوعی جزء اولین نمونه‌های بررسی رفتار سرعت باد و جریان باد در شبیه‌سازی رایانه‌ای تونل باد می‌باشد، که خود اهمیت پرداختن به این موضوع را دوچندان می‌کند.



تصویر ۱- بادگیرهای یک طرفه، دو طرفه، چهار طرفه و چند طرفه.
ماخذ: (Montazeri, 2009, 1425)

در ابتدای قرن جدید، مصرف انرژی به موازات توسعه اقتصادی و تکنولوژیک افزایش یافته و انتظار می‌رود در چند دهه دیگر این نیاز همچنان بیشتر گردد. انرژی در دستیابی به توسعه اقتصادی، اجتماعی و محیطی در راستای توسعه انسانی محوریت دارد. در این میان، ایران با جمعیت یک درصدی از جمعیت جهان، حدود ۹ درصد از نفت و فرآورده‌های آن را مصرف می‌کند (Rubin & Paridson, 2002, 8). همچنین در دهه‌ی اخیر، سرانه مصرف انرژی در ایران حدود پنج برابر سرانه جهانی آن است (بهادری نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۸، ۴). بنابراین امروزه به علت رشد روزافزون مصرف انرژی در جهان و با توجه به کمبود منابع سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های شدید زیست محیطی ناشی از احتراق آنها، ضرورت به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر جهت کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش یافته است. یکی از راه‌های کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی، ساخت واحدهای ساختمانی به گونه‌ای است که دارای کمترین نیاز به مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش آنها باشد. این مهم با بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل داشتن ظرفیت بی‌پایان و قابلیت ارائه انرژی با کمترین آلودگی محیطی قابلیت تحقق خواهد شد.

با نگاهی به بافت مجتمع‌های زیستی درمی‌یابیم که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند آفتاب، باد، و غیره از دیرباز مورد توجه انسان بوده است. بی‌آنکه در این زمینه، سهم یا وزن عوامل فرهنگی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی نادیده‌انگاشته شود، نحوه قرارگیری مسکن، فضاهای پر و خالی، استقرار پلان و بنا، توزیع معماری، مصالح مورد استفاده و همه و همه در ارتباط با پدیده اقلیم تعریف و تنظیم می‌شود. استفاده از روش‌های غیرفعال و پاک در معماری سنتی در غیاب وسایل مکانیکی تأمین‌کننده آسایش حرارتی، در طول هزاران سال تجربه ساخت بومی بدست آمده است. بهره‌گیری از این روش‌ها در ساختمان‌های امروزی، می‌تواند بهترین راه برای تأمین آسایش حرارتی این ساختمان‌های مدرن باشد. بطور مسلم، امروزه شناخت و ارزیابی نقش اقلیم بر بافت و بناهای سنتی جزو مهم‌ترین برنامه‌ها و اولویت‌ها در کاهش مصرف انرژی، استفاده از منابع طبیعی به جای سیستم‌های مکانیکی و ایجاد فضای زندگی راحت، سالم و بادوام می‌باشد (Ozay, 2004, 841-842). معماری سنتی ایران، با توجه به شرایط اقلیمی متفاوت در کشور، راه‌حل‌های متنوعی را در طول هزاران سال برای افزایش شرایط آسایش حرارتی انسان با استفاده از دیوارهای بلند، استفاده از خصوصیات عایقی

۱- ادبیات موضوع

۱-۱- بادگیر

بادگیرها برج‌هایی هستند که از قرن‌ها پیش در مناطق کویری ایران برای انتقال هوای بیرون به داخل فضای مسکونی و مکش هوای درون به بیرون جهت کمک به برقرار آسایش حرارتی در تابستان از آنها استفاده می‌شده است^۲ (Bahadori, 1977, 195). این برج‌ها ارتفاعات و سطح مقطع‌های متفاوت دارند، کوتاه‌ترین بادگیر حدود ۲ متر از سطح بام یا حدود ۵ متر از سطح حیاط مجاور اختلاف ارتفاع دارد و بلندترین آن نیز که در ایران ساخته شده است، حدود ۳۰ متر از سطح حیاط ارتفاع دارد و این در حالی است که متداول‌ترین ارتفاع بادگیر حدود ۸ متر است و نیز سطح مقطع بادگیر کاملاً متفاوت و ابعاد آنها متغیر است. متداول‌ترین سطح مقطع، مربع-مستطیل است در حالی که از مقاطع مربعی شکل و ۸ وجهی نیز استفاده شده است (نایی، ۱۳۸۱، ۲۳). بادگیر همانگونه که از نام آن پیداست جزئی از کالبد ساختمان‌های مناطق گرم و خشک و یا گرم و مرطوب ایران به شمار می‌رود که با هدایت جریان باد و بهره‌گیری از انرژی پاک طبیعت در تعدیل دما و رساندن دمای فضای سکونتی به دمای در حد آسایش انسان نقش مؤثری داشته است (محمودی، ۱۳۸۷، ۲۹). بادگیرها از عناصر مختلفی از جمله قفسه، ساقه، تیغه، تیغه اصلی، تیغه فرعی، منافذ باز و بسته تشکیل شده‌اند که برخی از این عناصر جنبه زیبایی‌شناسانه و برخی کاملاً عملکردی دارند (جدول ۱).

جدول ۱- تعریف اجزاء اصلی بادگیرها.

اجزاء بادگیر	تعریف
قفسه	قسمت رأس بادگیر که شامل مجاری عبور دهنده جریان هوا می‌باشد.
ساقه	بخشی از بدنه که حداقل قفسه و بام قرار گرفته است.
تیغه	عناصری آجری و خشتی که کانال بادگیر را به چند کانال کوچک تر تقسیم می‌کنند.
تیغه اصلی	دیواره‌هایی که تا مرکز برج ادامه می‌یابد و بادگیر را به چند کانال کوچک تقسیم می‌کند.
تیغه فرعی	دیواره‌هایی که تا مرکز برج ادامه نمی‌یابد و نقش پره‌های بادگیر را دارد.
منافذ باز و بسته	در نمای بادگیر هر فضایی که مابین دو تیغه قرار گیرد، منفذ باز امکان عبور هوا را می‌دهد و منفذ بسته این امکان را ندارد.

عملکردهای سنتی بادگیرها، تهویه و مکش، خنک‌کنندگی مواد غذایی و جلوگیری از گندیدگی آب در آب‌انبارها می‌باشد. در بادگیر از یک جهت باد مطبوع وارد و در جهت پشت به باد به علت ایجاد فشار منفی و مکش، هوای مطبوع وارد و در جهت پشت به باد به علت ایجاد فشار منفی و مکش هوای گرم داخلی خارج می‌شود. همچنین در مسیر بعضی از بادگیرها طاقچه یا گنجه‌ای وجود داشت که دری‌چوبی داشته تا باد را کنترل کند که این محفظه عملکرد یخچال‌های امروزی را داشته است.

۲-۱- عملکرد حرارتی بادگیر

دوروش برای کار بادگیر متداول می‌توان در نظر گرفت، یکی با وزش باد و دیگری بدون وزش باد. در روش با وزش باد، وقتی که باد نسبت به بادگیر و ساختمان متصل به آن می‌وزد، فشاری به نام فشار باد در تمام دهانه‌های بادگیر و در سطوح مختلف ساختمان به وجود می‌آید. این فشار از رابطه ۱ بدست می‌آید.

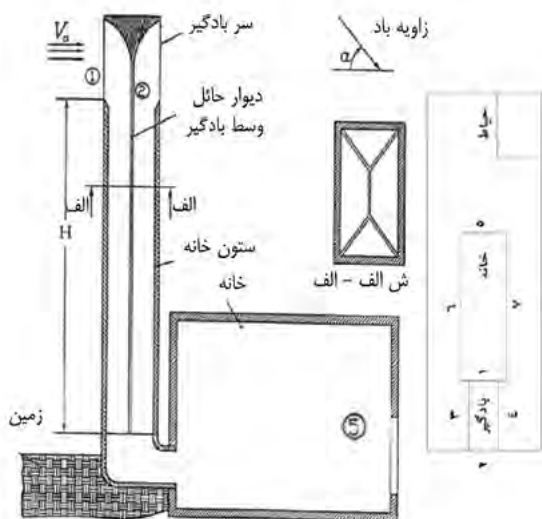
$$(1) P = C_p \frac{1}{2} \rho V^2$$

در این رابطه P فشار V سرعت باد و ρ جرم مخصوص یا چگالی هوا و C_p ضریب فشار باد است (Bahadori, 1985, 120). همچنین اختلاف فشاری بین دهانه یا دهانه‌های رو به بادگیر و هر دهانه بادگیر از رابطه (۲) بدست می‌آید. این اختلاف فشار باعث جریان مقدار معینی هوا در بادگیر می‌شود که از رابطه (۳) بدست خواهد آمد.

$$(2) \Delta P = P_i - P_j = (C_{pi} - C_{pj}) \frac{1}{2} \rho V^2$$

$$(3) V_{j,i} = \Delta P / R_j$$

در این رابطه V معرف جریان حجمی هوا، ΔP معرف اختلاف فشار و R مقاومت جریان و A و Z معرف دهانه و A معرف مسیر هوا از A تا Z می‌باشد (Karakatsanis, 1986, 367). با اختلاف فشار ΔP_{ij} بین دهانه‌های A و Z و برحسب مقاومتی که در سر راه این جریان هوا وجود دارد، جریان هوایی مطابق رابطه (۳) برقرار می‌شود، یعنی از دهانه رو به باد بادگیر A هوا وارد بادگیر و از دهانه یا بازشوز از ساختمان خارج می‌شود. بنابراین با استفاده از شبکه جریان، می‌توان مقدار جریان هوا را در هر مسیر یا مجرا تعیین کرد. هوایی که از یک مجرا عبور می‌کند، با سطوح اطراف خود مبادله گرمایی دارد و دمایش تغییر می‌کند. بنابراین در موقع ورود به اتاق یا ساختمان دمایی متفاوت دارد. دمای هوای ورودی را می‌توان با در نظر گرفتن شبکه گرمایی تعیین کرد (بهادری، ۱۳۸۸، ۴۴۸). تصویر ۲، نحوه رفتار یک بادگیر دو طرفه و معرفی اجزاء آن را نشان می‌دهد.



تصویر ۲- رفتار یک بادگیر دو طرفه در یک خانه سنتی. مأخذ: (بهادری نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۸، ۴۴۹)

۱-۳- گونه شناسی بادگیر

بادگیرهای ایرانی را می توان به سه دسته ی اردکانی، کرمانی و یزدی تقسیم نمود (شریعت زاده، ۱۳۷۴، ۲۲۳-۲۲۴). بادگیر اردکانی بیشتر در منطقه اردکان دیده می شود که جهت چشمه های بادگیر رو به باد مطبوع اصفهانی بوده و از سمت غرب، شرق و جنوب منفذی ندارد. ساختار این بادگیرها از لحاظ معماری ساده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است. در بعضی از شهرهای جنوبی ایران مانند بندرعباس، بندر بوشهر و غیره که در مجاورت دریا می باشند، بادگیرهای یک طرفه ای رو به دریا ساخته شده اند تا بادهایی را که از روی آب گذشته و به صورت نسیم خنکی در می آیند به فضای داخلی ساختمان انتقال دهند (زمرشیدی، ۱۳۷۳، ۱۲۳-۱۱۹). بادگیرهای کرمانی از نظر معماری ساده و تقریباً کوچک هستند و چون دو طرفه می باشند به آنها بادگیر دوقلو نیز می گویند. کارکرد این بادگیر نسبت به بادگیرهای اردکانی دقیق تر است زیرا فشار باد از یک طرف، موجب تخلیه سریع هوای گرم و آلوده از طرف دیگر می گردد. ضمناً بادگیر بیشتر آب انبارها را از نوع بادگیر کرمانی می سازند (مزیدی و مزیدی، ۱۳۸۷، ۳۹). بادگیر یزدی که از سایر انواع بادگیرها بزرگتر است معمولاً بصورت چهارطرفه ساخته می شود و ارتفاع آن زیاد می باشد. این نوع بادگیر از نظر معماری از سایر انواع بادگیرها پیچیده تر و زیباتر بوده که زیباترین و بلندترین بادگیر از این نوع، بادگیر باغ دولت آباد یزد است (مصطفوی، ۱۳۷۷، ۳۳۵-۶). تقسیم بندی ذکر شده در مورد انواع بادگیر تقسیم بندی مرسوم انواع بادگیر است با در نظر گرفتن این موضوع که در مناطق مختلف ایران بادگیرهای متفاوت از انواع ذکر شده وجود دارد.

۱-۴- تهویه طبیعی

عامل اصلی حرکت هوا در یک بادگیر، نیروی ثقل است. این فرآیند بدون دخالت هرگونه وسیله الکترونیکی حاصل می شود. به همین دلیل مساحت دهانه ی بادگیر باید عریض باشد تا بتواند فشار باد لازم را فراهم نماید. هوای سرد سنگین تر از هوای گرم بوده به سمت پایین به حرکت در می آید و بدین ترتیب جریان خودکار هوا، حتی اگر بادی نیز نوزد، در داخل بادگیر برقرار می گردد. وزیدن باد این عمل را سریع تر می کند. بادگیرهای معمولی غالباً در پشت بام قرار دارند و ارتفاع آنها بین ۱۰ الی ۱۵ متر بوده و سطح مقطع آنها بین ۰/۶ الی یک متر مربع است. ظرفیت هوادهی این بادگیرها بین ۱ الی ۲/۸ مترمکعب بر ثانیه می باشد. تهویه طبیعی برای آنکه تعادل فشار برقرار گردد براساس حرکت هوا و جریان آن در داخل ساختمان ایجاد می گردد (Swang, 1991, 17). اختلاف فشار عمدتاً به واسطه وزش باد یا نیروی شناوری که ناشی از اختلاف چگالی در طبقات مختلف، به وجود می آید. در یک رطوبت یکسان، هوای سرد از هوای گرم سنگین تر است لذا جریان هوا با سقوط هوای سنگین شروع می شود و نیرویی که پشت هوای سبک است باعث می گردد که هوای گرم از مجاری

دیگر خارج شده و هر چقدر ارتفاع بادگیر بیشتر باشد، یعنی فاصله از محل ورودی هوا تا محل خروجی هوا بیشتر باشد، اختلاف فشار نیز بیشتر می شود (Yaghoubi, 1975, 521-3). باد باعث می شود که روی دیوارهای رو به باد فشار مثبت ایجاد شده و روی دیوارهای پشت به باد فشار منفی ایجاد شود. این رو هوای تازه از طرف دیوار رو به باد وارد شده و هوا از طرف دیوار یا محل های پشت به باد خارج می گردد.

۱-۵- پیشینه تحقیق

در راستای بررسی علمی رفتار و عملکرد حرارتی بادگیر، مطالعات فراوانی صورت گرفته است. دهقانی و آقاجفی (۱۳۸۳، ۲۵-۱۴) با محاسبه سه پارامتر دما، دبی جرمی و رطوبت در بادگیری در شهریار تهران، از روش تجربی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از این روش سنتی با تغییراتی کوچک در عصر امروز نیز می تواند کاربرد داشته باشد. مزیدی و مزیدی (۱۳۸۷، ۴۶-۳۹). با تحلیل عددی بادگیر باغ دولت آباد یزد، مزایا و معایب این روش تهویه طبیعی را با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری برشمرده است. از جمله اینکه دمای هوای وارده به بادگیر با دمای محیط بیرون حتی با استفاده از سطوح خیس شونده برابر می باشد. بهادری با مدلسازی رایانه ای دمای هوا را در تمامی طول یک بادگیر سنجیده است و تغییرات این پارامتر را ثبت نموده است (Bahadori, 1987, 34-45). محمودی از طریق مدلسازی بادگیر های یزد به بررسی رفتار سرمایشی انواع بادگیرهای این شهر پرداخته و گونه شناسی از بادگیرهای این شهر را بر اساس این آنالیز، ارائه نموده است (Mahmudi, 2009, 574-579). منتظری با بررسی بادگیرهای دو طرفه و مقایسه آن با بادگیر یک طرفه به این نتیجه رسید که بادگیر دو طرفه ۲- درصد کارایی بهتری در رفتار سرمایش نسبت به بادگیر یک طرفه دارد (Montazeri, 2009, 124-131). همچنین منتظری و همکارانش در آنالیز رفتار حرارتی و سرمایش بادگیرهای دوطرفه با مدل سازی ماکتی در مقیاس یک به چهل، و قرار دادن آن در محیط تونل باد مکانیکی، عملکرد این بادگیرها در تهویه طبیعی را مثبت ارزیابی نمودند (Mointazeri et al., 2010, 1424-1435). کلانتر با مقایسه ی بادگیر با سطوح مرطوب و خشک به این نتیجه رسید که بادگیر با سطوح مرطوب، علیرغم هزینه برابر عملکرد بهینه تری نسبت به بادگیر با سطوح خشک دارا می باشد (Kalantar, 2009, 246-254). بوکهام و دیگران (2011, 898-906) با مدلسازی عددی بادگیر در شرایط مختلف، به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع بادگیر و همچنین کم کردن عرض پره های داخلی بادگیر می توان جریان هوا و تهویه ناشی از آن را افزایش داد. پژوهش های فراوان دیگری به بررسی این سازه ی سنتی و شناخت رفتار سرمایشی و حرارتی آن پرداخته اند. این مقاله بر آن است که با مدل سازی دو نمونه از بادگیرهای سنتی در کرمان و یزد به بررسی رفتار جریان هوا در ورود و خروج

استفاده گردید. ابتدا بادگیرها در محیط این نرم افزار مدل سازی شده و سپس با استفاده از داده های اقلیمی و عددی بدست آمده از محاسبات بادگیر، تونل باد شبیه سازی شده و مدل هر بادگیر جداگانه در مشخصات اقلیم خود آزمایش شد. در نهایت نیز نتایج در قالب تصاویر شبیه سازی شده و نمودارهای مستخرج شده ارائه گردیده است.

۳- مدلسازی بادگیرها

در محاسبات مدلسازی بادگیرهای سنتی ایرانی، از فرمول های (۱)، (۲) و (۳) استفاده گردید. برای دقت بیشتر مدلسازی از آمار ۵ ساله ایستگاه های سینوپتیک ایستگاه های کرمان و یزد استفاده شد و داده های اقلیمی میانگین سرعت باد و جهت باد استخراج گردید که جهت رعایت اختصار، در مقاله بیان نشده اند. همچنین عملکرد تهویه بادگیر در طول ۱۲ ماه از سال و در نهایت در متوسط دوره ۵ ساله اندازه گیری شد. برای محاسبه ی تطبیقی دو بادگیر آنها را در شرایطی با زاویه ی باد ثابت و مقاومت جریان هوا با پارامتری واحد در نظر گرفته شده است. با این پیشینه در این محاسبات فرضیات زیر حاکم است:

$$\alpha = 90^\circ$$

$$R_{ij} = \text{Constant}$$

رابطه ۴- فرضیات تحقیق.

جهت بادگیر کرمانی، شرقی- غربی و بادگیر یزدی نیز عطفه می باشد. در این مطالعه با محاسبه ی اختلاف فشار بین دهانه های بادگیر و پنجره رو به حیاط در یک خانه فرضی در اقلیم های متفاوت محاسبه و سپس سرعت جریان باد اندازه گیری شده و در نهایت با مقایسه عملکرد این بادگیرها حالت بهینه آن مشخص می شود. در ادامه با استفاده از آزمایش مدل ساختمان و بادگیر در تونل های مجازی باد و اکتباس از نتایج مطالعات بهادری نژاد و یعقوبی (۴۴۷، ۱۳۸۸) ضرایب C_p برای هر دهانه در بادگیر کرمانی و یزدی محاسبه و اکتباس شده است (جدول ۲ و ۳). به طور کلی وقتی که باد عمود بر دهانه ی بادگیر می وزد ضریب در این دهانه مثبت و در سایر دهانه ها منفی می باشد.

۳-۱- محاسبات عددی ۱۲ ماهه بادگیر کرمانی

با توجه به آمار جدول ۲ و فرمول های (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب فشار باد در بادگیر در ماه های سال و میانگین دوره، اختلاف فشار دهانه بادگیر و پنجره پشت به حیاط و سرعت ناشی از اختلاف فشار در بادگیر محاسبه شده است. با توجه به زاویه ۴۵° باد، در دهانه غربی $C_p = -0.35$ و در دهانه شرقی $C_p = +0.67$ می باشد. جدول ۴ مقدار عددی فشار را در دهانه غربی (شماره ۱) و شرقی (شماره ۲) بادگیر فرضی کرمانی و در پنجره پشت به حیاط خانه روبه بادگیر و اختلاف فشار ناشی از بادگیر و بازشو را به تفکیک ۱۲ ماه و متوسط دوره ۵ ساله سرعت باد را نشان

۲- بیان مسأله و فرایند تحقیق

۲-۱- بیان مسأله

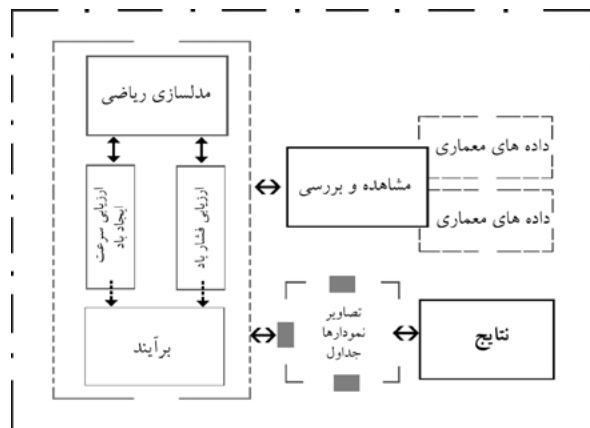
عملکرد بادگیرها به عنوان یکی از شاخص ترین جلوه های اقلیمی معماری سنتی ایران، بارها مورد پژوهش واقع شده است. در این پژوهش ها بیشتر به مسائل ترمودینامیکی و دمای هوا در قسمت های مختلف بادگیر پرداخته شده، به همین دلیل این مقاله با بررسی جریان هوا با استفاده از پارامترهای سرعت هوا و دمای هوا، عملکرد دو گونه برجسته این فناوری اقلیمی سنتی را می سنجد. با این حال مسئله اصلی این تحقیق یافتن تفاوت اصلی این دو بادگیر از حیث عملکرد سرعت باد می باشد.

۲-۲- سوالات تحقیق

۱. نحوه تأثیر جهت گیری دهانه بادگیر با توجه به اقلیم مناطق کویری ایران و نیز ارتفاع بادگیر در دو گونه کرمانی و یزدی چگونه است؟
۲. از جهت کیفیت تهویه طبیعی و ایجاد کوران کدام یک از دو گونه بادگیر کرمانی و یزدی در فصول متفاوت سال بهتر عمل می کنند؟

۲-۳- روش تحقیق

این مقاله به مقایسه عملکرد باد و سرعت ایجاد آن در دو نوع بادگیر کرمانی و یزدی می پردازد. روش بررسی عملکرد بادگیر به صورت مدل سازی و شبیه سازی عددی بوده و نتیجه گیری با استفاده از استدلال منطقی صورت می گیرد (Groat & Wang, 2002, 275) و روش جمع آوری اطلاعات نظری از روش مطالعه منابع کتابخانه ای می باشد (نمودار ۱). هدف این مطالعه معرفی و آنالیز عملکرد سه گونه بادگیر مورد نظر، با استفاده از محاسبات عددی علم مکانیک، مقدار و سرعت جریان باد را در بادگیرها مشخص می نماید. روش های عددی نقش مهمی در شناسایی میران کارایی سیستم های مختلف ساختمانی و تاسیساتی دارند. (مهودی نژاد و رفالیان، ۱۳۹۰، ۶۲). جهت مدلسازی رایانه ای و تحلیل های نرم افزاری آن، از نرم افزار Autodesk Vasari 2.0



نمودار ۱- مکانیسم نتیجه گیری و روش تحقیق.

جدول ۲- بادگیرهای کرمانی بر اساس اطلاعات اقلیمی ایستگاه کرمان.

موقعیت در پلان تصویر ۱	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جون	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	میانگین دوره ۵ ساله
۱	-۰/۶۵	-۰/۶۰	-۰/۵۸	-۰/۵۰	-۰/۸۸	-۰/۹۱	-۰/۰۳	-۰/۰۷	-۰/۴۲	-۰/۷۴	-۰/۰۲	-۰/۴۶	۰/۳
۲	-۰/۸۵	-۰/۸۴	-۰/۸۶	-۰/۰۴	-۰/۴۵	-۰/۳۵	-۰/۸۳	-۰/۳۹	-۰/۵۷	-۰/۸۸	-۰/۸۳	-۰/۶۴	۰/۸۳
۵	-۰/۳۱	-۰/۳۰	-۰/۳۰	-۰/۲۸	-۰/۰۵	-۰/۳۰	-۰/۲۲	-۰/۳۰	-۰/۱۲	-۰/۳۳	-۰/۲۳	-۰/۲۱	-۰/۲۳

ماخذ: (بهداری نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۸، ۴۴۹)

جدول ۳- بادگیرهای یزدی بر اساس اطلاعات اقلیمی ایستگاه یزد.

موقعیت در پلان تصویر ۱	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جون	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	میانگین دوره ۵ ساله
۱	-۰/۷۴	-۰/۴۰	-۰/۴۸	-۰/۴۵	-۰/۹۰	-۰/۴۹	-۰/۴۲	-۰/۳۹	-۰/۶۵	-۰/۷۴	-۰/۴۹	-۰/۶۶	-۰/۶۰
۲	-۰/۳۵	-۰/۳۴	-۰/۲۵	-۰/۳۳	-۰/۴۳	-۰/۳۶	-۰/۵۵	-۰/۶۱	-۰/۴۲	-۰/۳۵	-۰/۳۶	-۰/۳۶	-۰/۳۶
۳	-۰/۷۰	-۰/۳۰	-۰/۲۸	-۰/۴۵	-۰/۲۹	-۰/۴۹	-۰/۸۳	-۰/۸۳	-۰/۱۱	-۰/۷۰	-۰/۴۹	-۰/۵۰	-۰/۲۸
۴	-۰/۸۸	-۰/۶۵	-۰/۸۶	-۰/۸۵	-۰/۳۴	-۰/۸۶	-۰/۵۷	-۰/۶۵	-۰/۸۵	-۰/۸۸	-۰/۸۶	-۰/۸۹	-۰/۵۰
۵	-۰/۳۵	-۰/۱۳	-۰/۲۹	-۰/۲۸	-۰/۰۳	-۰/۳۰	-۰/۱۲	-۰/۱۳	-۰/۳۱	-۰/۳۵	-۰/۳۰	-۰/۳۴	-۰/۰۹

ماخذ: (بهداری نژاد و یعقوبی، ۱۳۸۸، ۴۴۹)

می دهد (جدول ۴).
 ۲-۳- محاسبات عددی ۱۲ ماهه بادگیر یزدی
 با توجه به آمار جدول ۲ و فرمول های (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب فشار باد در بادگیر در ماه های سال و میانگین دوره، اختلاف فشار دهانه های بادگیر و پنجره پشت به حیاط و سرعت ناشی از این اختلاف فشار در بادگیر محاسبه شده است. با توجه به زاویه ۵۰ در دهانه غربی $C_p = -0,35$ و در دهانه شرقی $C_p = +0,67$ ، در دهانه شمالی $C_p = 0,29$ و در دهانه جنوبی $C_p = 0,41$ می باشد. جدول ۵ مقدار عددی فشار را در دهانه غربی (شماره ۱) و شرقی (شماره ۲) و شمالی (شماره ۳) و جنوبی (شماره ۴) بادگیر فرضی یزدی و در پنجره پشت به حیاط خانه (شماره ۵) رو به بادگیر و اختلاف فشار ناشی از بادگیر و بازشو را به تفکیک ۱۲ ماه و متوسط دوره ۵ ساله سرعت باد را نشان می دهد (جدول ۵).

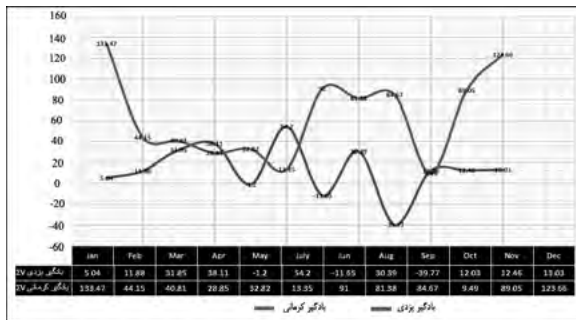
جدول ۴- نتایج محاسبات عددی بادگیر کرمانی.

پارامتر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جون	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	میانگین دوره ۵ ساله
P_1	۱۹/۶	۱۹/۱۴	۰/۹۲	-۲۶/۷	-۲۱/۷۳	۴۹/۱۶	۸۱/۱	۶۲/۷۸	۶۰/۷۱	-۴۷/۱۹	-۵۹	-۵۱/۵۶	-۳۶/۴۶
P_2	۵۴/۳۳	۲۴/۶۴	۳۳/۶۷	۳۱/۷۵	-۲۹/۴۹	-۲۵	۵۸/۲۹	۲۱/۲۲	۳۱/۰۴	۳/۷۷	۸۷/۴۸	۷۲/۱۸	۴۷/۶۸
P_3	-۱۵/۰۲	۸/۷۴	-۷/۱۱	-۱۱/۹	-۶/۲	۱۹/۲۴	-۱۵/۴۵	-۱/۲۷	۳/۴۴	-۲۶/۴۲	-۳/۵۱	-۲۵/۷۸	-۱۷/۳۹
ΔP_{15}	۳۴/۶۲	۲۶/۲۵	۸/۰۳	-۱۴/۸۰	-۱۵/۵۳	۲۹/۸۹	۱۷/۲۶	۵۹/۳۴	۵۷/۲۷	-۲۰/۷۷	-۲۸/۸۵	۲۵/۷۸	-۱۹/۰۷
ΔP_{25}	۶۹/۲۵	۱۷/۹	۳۲/۷۸	۴۲/۶۵	-۲۲/۲۹	-۴۴/۲۴	۷۲/۷۴	۲۲/۴۹	۲۷/۶	۳۰/۱۹	۱۷۷/۹۹	۹۷/۸۸	۶۴/۰۷
ΣV	۱۳۳/۴۷	۴۴/۱۵	۴۰/۸۱	۲۸/۸۵	۳۲/۸۲	۱۳/۳۵	۹۱	۸۱/۸۳	۸۴/۶۷	۹/۴۹	۸۹/۰۵	۱۲۴/۶۶	۴۵

جدول ۵- نتایج محاسبات عددی بادگیر یزدی.

پارامتر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئیه	جون	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	میانگین دوره ۵ ساله
P_1	-۱۴/۱	۷/۶۵	-۲۱/۸۶	-۲۳/۲۸	-۴۷/۵	-۲۰/۸۷	-۲۱/۲۸	-۲۱/۳۳	-۲۲/۸۸	-۱۸/۲۷	-۷/۲۸	-۱۱/۷۹	۱۹/۵۶
P_2	-۶/۷۰	-۶/۵۰	-۱۵/۹۴	-۱۷/۰۳	-۲۲/۶۵	-۱۵/۳۳	-۲۷/۸۷	-۲۵/۳۹	-۲۴/۷۸	-۸/۶۴	-۵/۳۳	-۶/۴۴	-۱۱/۷۳
P_3	-۱۲/۴	-۵/۷۴	-۲۱/۸۶	-۲۳/۲۸	-۱۵/۹۵	-۲۰/۸۷	۴۲/۰۲	۳۴/۵۵	۳/۸۷	-۱۷/۲۸	-۷/۲۸	-۸/۹۳	-۹/۱۳
P_4	۱۲/۴۴	۱۲/۴۴	۲۸/۷۱	۴۳/۸۸	-۱۸/۷	-۲۴/۰۷	-۲۸/۸۹	-۲۶/۶۴	-۲۹/۹۲	۲۷/۲۱	۱۲/۷۸	۱۵/۹۰	-۱۶/۳۰
P_5	-۶/۷۰	-۲/۴۸	-۱۳/۲۰	-۱۴/۴۸	-۱/۶۵	-۱۲/۷۷	-۶/۰۸	-۵/۴۱	-۱۰/۹۱	-۸/۶۴	-۴/۴۶	-۶/۰۷	-۲/۹۳
ΔP_{15}	-۷/۴۰	-۴/۱۳	-۸/۶۶	-۹	-۵۶/۱۶	-۸/۱	-۱۵/۲	-۱۰/۸۲	-۱۱/۹۷	-۹/۶۹	-۲/۸۲	-۵/۷۲	۲۲/۴۹
ΔP_{25}	۰	-۴/۰۸	-۲/۷۴	-۲/۵۵	-۲۱/۹۱	-۲/۵۶	-۲۱/۹۹	-۱۹/۹۸	-۲/۸۷	۰	-۱/۸۶	-۰/۳۶	-۸/۸
ΔP_{35}	-۶/۷۰	-۳/۰۹	-۸/۶۶	-۸/۸	-۱۴/۳	-۸/۱	۴۸/۱۵	۳۹/۹۶	۱۴/۷۸	-۸/۶۴	-۲/۸۲	-۲/۸۶	-۶/۲۰
ΔP_{45}	۱۹/۱۴	۱۴/۹۲	۵۱/۹۱	۵۸/۴۶	-۱۷/۰۵	۲۱/۳۰	-۲۲/۸۱	-۲۱/۳۳	۴۰/۸۳	۳۰/۲۶	۱۷/۲۴	۲۱/۹۷	-۱۳/۲۷
ΣV	۵/۰۴	۱۱/۸۸	۳۱/۸۵	۲۸/۱۱	-۱/۲	۵۴/۲	-۱۱/۶۵	۳۰/۳۹	-۳۹/۷۷	۱۲/۰۳	۱۲/۴۶	۱۳/۰۳	۲۰/۸۶

شبیه‌سازی عددی رفتار باد می‌تواند به این نتیجه رسید که با توجه به اینکه سرعت جریان باد در شهر کرمان بیشتر از میانگین آن در شهر یزد بوده و اینکه در کرمان باد غالب در طول سال بیشتر از دو جهت اصلی می‌وزد و بادگیر کرمانی نیز رو به این جهات ساخته می‌شود، در مجموع سالانه، سرعت هوای نفوذی در بادگیر کرمانی بسیار بیشتر از میانگین سرعت هوای ورودی به بادگیر یزدی می‌باشد. نمودار ۲ و ۳، نتایج بررسی مدل‌سازی



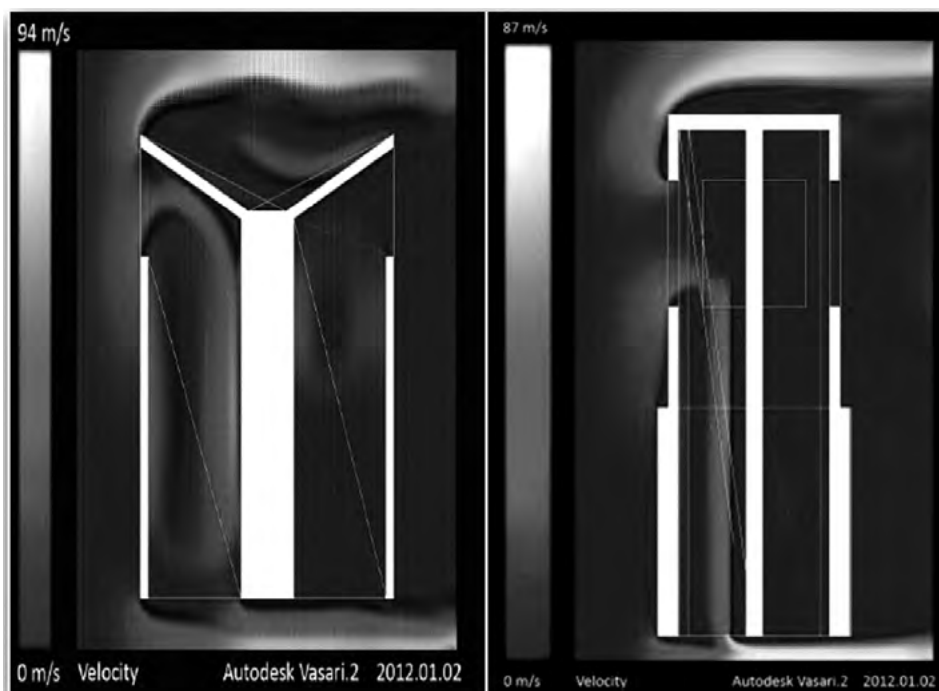
نمودار ۲- تغییرات سرعت در طول سال در بادگیر کرمانی و یزدی.

عددی سنجش سرعت هوا میان دهانه‌های بادگیر و بازشویی در فضای تحتانی آن را به صورت میانگین ۵ ساله و عملکرد ماهانه نمایش می‌دهد. بررسی این نمودار نشان می‌دهد که سرعت باد ورودی در بادگیر یزدی در فصل بهار به خصوص در ماه‌های فروردین و خرداد بیشتر از همین پارامتر در بادگیر کرمانی می‌باشد. همچنین سرعت باد در ماه مهر نیز بیشتر از مقدار همین کمیت در بادگیر یزدی می‌باشد. این در حالی است که مقدار این پارامتر در بقیه‌ی ماه‌های سال در بادگیر کرمانی بیشتر می‌باشد.

در دهانه‌ی روبه باد بادگیر کرمانی، بیشینه‌ی سرعت هوا در این تلاطم اتلاف شده و نوعی بازگشت هوای مطلوب رخ می‌دهد. این مسئله در دهانه‌ی پشت به باد غالب بادگیر کرمانی هم مشهود است. در این دهانه، بیشینه‌ی سرعت باد در یک سوم ابتدایی دهانه ایجاد شده و جریان هوایی نفوذ کرده به انتهای بادگیر دارای کمینه سرعت می‌باشد که این امر نیز خود نکته‌ی منفی در عملکرد این بادگیر می‌باشد. نکته‌ی قابل ذکر دیگر در این نمونه موردی، نوع سقف سازی اصلی بادگیر می‌باشد. این سقف با شیب حدود ۳۰ درجه‌ی خود در افزایش تلاطم هوا نقش بسزایی ایفا می‌نماید. این پدیده در قسمت خارجی بین دو دهانه‌ی اصلی بادگیر، با ایجاد مکش قوی، نیز مشهود می‌باشد. در هر صورت می‌توان بیان نمود که عملکرد بهینه‌ی بادگیر بایستی در راستای کاهش این تلاطم باشد که در طراحی بادگیر کرمانی چنین نکته‌ای مشاهده نمی‌شود.

نکته حائز اهمیت در بررسی بادگیر یزدی این است که تلاطم هوا در دهانه‌ی رو به باد غالب بسیار ناچیز می‌باشد و بیشینه سرعت در این بادگیر به صورت جریانی مستقیم کاملاً مشهود می‌باشد. این پدیده منجر به این شده که بیشترین تهویه‌ی طبیعی در فضای تحتانی بادگیر رخ دهد که این نکته خود می‌تواند نکته مثبت طراحی باشد. این در حالی است که در دهانه‌ی پشت به باد این بادگیر، تلاطم شدید ایجاد شده در اطراف آن منجر به کاهش حجم هوای ورودی نفوذی به این دهانه می‌شود. اما با این حال بیشینه سرعت در این دهانه نیز در انتهای ستون هوای آن رخ داده است، که این امر نیز خود می‌تواند یکی از نکات مثبت طراحی در کنار این ضعف بادگیر باشد (تصویر ۸).

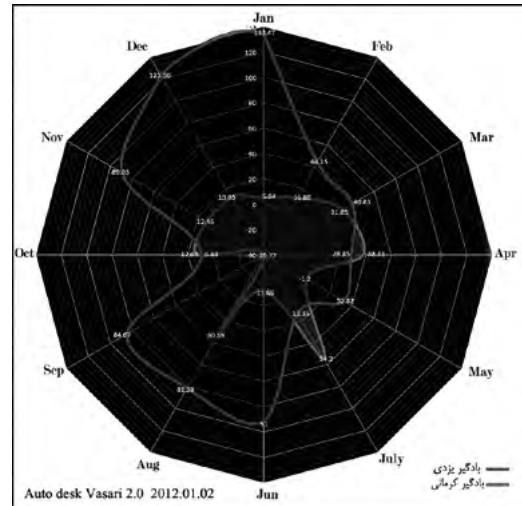
همچنین با بررسی نمودار تغییرات سرعت منتج شده از



تصویر ۸- نتایج شبیه‌سازی تونل باد در مقاطع بادگیر کرمانی و یزدی.

البته در فصل پاییز، سرعت باد ورودی به بادگیر کرمانی بسیار شدید بوده که با توجه به شرایط اقلیمی کرمان این نکته می تواند بیانگر ضعف در عملکرد بادگیر باشد. با این حال عملکرد مثبت بادگیر کرمانی در فصل تابستان به خصوص در ماه های تیر و مرداد می تواند بهینه ترین عملکرد بادگیر به نمایش بگذارد. این امر توجه به طراحی منطبق با اقلیم بومی را در این بادگیر به وضوح نمایش می گذارد.

در مجموع می توان اذعان نمود که عملکرد بادگیر کرمانی و یزدی حاوی نکات مثبت و منفی متعددی می باشد. با این حال هرکدام از این سازه ها در اقلیم خود تا حد زیادی زمینه ساز آسایش حرارتی می شود. نتایج تحلیل ها و مدلسازی های عددی و رایانه ای نشان می دهد که در مجموع، اختلاف سرعت ایجاد شده میانه دهانه های بادگیر کرمانی با بازشوی فضای تحتانی بیشتر از همین کمیت در بادگیر یزدی می باشد (جدول ۶).



نمودار ۳- تغییرات سرعت در طول سال در بادگیر کرمانی و یزدی.

جدول ۶- نکات مثبت و منفی در نتایج تحلیل تونل باد در بادگیر کرمانی و یزدی.

نکات منفی	نکات مثبت	نوع بادگیر
عدم استفاده از حداکثر سرعت باد در بدنه های جانبی بادگیر	استفاده بهینه از باد غالب در دو جهت اصلی آن	بادگیر کرمانی
ایجاد تلاطم بالا در ستون های بادگیر و اتلاف سرعت بیشه ی باد در این نقاط	ورود حجم بالای هوا در دهانه ی پشت به باد	
سرعت بالای هوای ورودی به دهانه های بادگیر در فصل سرد پاییز و ایجاد مشکلات حرارتی	سرعت بالای هوای ورودی به دهانه های بادگیر در سال و بخصوص تابستان	
عدم استفاده بهینه از حداکثر سرعت جریان باد در دهانه ی پشت به باد	استفاده بهینه از حداکثر سرعت باد ایجاد شده در دهانه های اطراف دهانه ی روبه باد غالب	بادگیر یزدی
بیشینه ی تلاطم در دهانه ی پشت به باد غالب که موجب جلوگیری از ورود هوا به این دهانه می گردد.	حداکثر تهویه هوا با توجه به حداقل تلاطم ایجاد شده در داخل ستون های بادگیر	
سرعت بالای هوای ورودی به دهانه ها در مهر ماه و همچنین سرعت پایین سرعت هوای ورودی در اکثر ایام سال	سرعت بالای هوای ورودی در فصل بهار، و ماه مرداد (تابستان)	

نتیجه

شرایط اقلیمی مورد استفاده هر یک می تواند کارایی بهتری داشته باشد. همچنین تاثیر ارتفاع بادگیرها به طور مستقیم خود را در تحلیل‌ها نشان نمی‌دهند بلکه به شکل غیر مستقیم در ایجاد کوران و تلاطم در دهانه‌ها تاثیرگذار می‌باشد و این نکته بیان کننده‌ی این موضوع است که تحلیل عمکردی بادگیرها کاملاً وابسته به اقلیم متفاوت می‌باشد و این عامل سبب می‌شود تحلیل هر مورد در شرایط اقلیمی متفاوت نکته‌های جدیدی را مکشوف کند.

با بررسی دقیق و شبیه سازی رایانه ای به وضوح دریافت می‌شود که سیستم‌های تهویه‌ی سنتی ماهمچون بادگیرها نکات قابل توجه رازهای نامکشوف بسیاری دارند که پژوهش‌های بیشتری در این زمینه را طلب می‌کند. با تحلیل دو گونه‌ی بادگیر دو طرفه و چهار طرفه در اقلیم ایران چنین دریافت شد که می‌توان از تکنیک‌هایی که برای ایجاد کوران و افزایش سرعت باد و در نتیجه تهویه بهتر در این بادگیرها استفاده شده است، در طراحی معماری بناهای امروزی نیز استفاده کرد تا بدین وسیله از میراث ارزشمند علم و هنر ایرانی در معماری معاصر بی‌نصیب نماند.

تصاویر و نمودارهای استخراج شده از نرم افزار به منظور مقایسه سرعت و فشار هوا نسبت به جهت گیری بادگیر و همچنین تحلیل کارایی بادگیرها در مقابل جریان باد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، تحلیل‌هایی از این دست برای شناخت اجزای تاثیرگذار در ایجاد برودت و همچنین پژوهش‌های موردی درباره‌ی بادگیرها بسیار مورد استفاده می‌باشند. از نتایج بدست آمده در این پژوهش می‌توان برای ساخت کانال تهویه طبیعی و سیستم‌های تهویه طبیعی استفاده کرد.

نتایج چنین نشان می‌دهند که در استفاده از دو گونه بادگیر دو طرفه و چهار طرفه، افزایش توان برودتی و کارایی بهینه یکی از مهم ترین اصول بکارگیری بوده است به نحوی که در بادگیر یزدی این اصل در طول چهار فصل سال حاکم است در حالی که این نسبت در بادگیر کرمانی فقط در طول تابستان صادق است. افزایش دهانه‌های بادگیرنده در نمونه‌ی یزدی نکات مثبت و منفی متعددی دارد به نحوی که به صورت مطلق نمی‌توان یکی از این دو گونه بادگیر را بر دیگری برتری دارد و با توجه به

پی نوشت‌ها:

شناسی معماری بادگیرهای یزد و یافتن گونه بهینه کارکردی، فصلنامه هنرهای زیبا، شماره ۳۶، صص ۲۷-۳۶.

مصطفوی، محمد تقی (۱۳۷۱)، بادگیرها پدیده‌های سهل و متع در معماری اصیل ایران، جلد اول، انتشارات جداگانه، تهران.

مهدوی نژاد، محمدجواد (۱۳۸۳)، حکمت معماری اسلامی، جستجو در ژرف‌ساخت‌های معنوی معماری اسلامی، مجله هنرهای زیبا، شماره ۱۹، صص ۵۷-۶۶.

مهدوی نژاد، محمدجواد، و رفالیان، غزال (۱۳۹۰)، کاربرد الگوی مقداری در همسازی معماری و ساز، فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، شماره ۲، صص ۶۱-۶۷.

نایی، فرشته (۱۳۸۱)، حیات در حیاط، حیاط در خانه‌های سنتی ایران، موسسه انتشارات نزهت، تهران.

Bahadori, M.N (1985), An improved design of wind towers for natural ventilation and passive cooling, *Solar Energy*, Vol. 35, No. 2, pp. 119-129.

Bahadori, M.N (1987), Passive cooling systems in Iranian architecture, *scientific American*, Vol. 238. No. 2, pp 144-154.

Bahadori, M.N (1977), *Natural cooling in hot arid regions*, in *Solar energy application in buildings*, edited by A.A.M. Sayigh, Academic Press Inc., New York, pp. 195-225.

Bouchahm, Yasmina, Bourbia, Fatiha, Belhamri, Azedine (2011), Performance analysis and improvement of the use of wind tower in hot dry climate, *Renewable Energy*, Vol 36, pp 898-906.

۱ تونل مجازی باد عبارت است از شبیه‌سازی جریان باد در محیط نرم‌افزار رایانه‌ای، به نحوی که نتایج بسیار شبیه به واقعیت موجود باشد. امروزه این روش تحلیل رفتار باد تبدیل به جایگزینی مناسب برای تونل باد واقعی در محیط آزمایشگاه شده است.

۲ در این تعریف با توجه به حوزه پژوهش حاضر بادگیرهای یکطرفه صرفاً مکشی در نظر گرفته نشده است.

3 Simulation and Modeling.

4 Logical Argumentation.

فهرست منابع:

بهادری نژاد، مهدی؛ یعقوبی، محمود (۱۳۸۸)، تهویه و سرمایش طبیعی در ساختمانهای سنتی ایران، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

دهقانی، علیرضا؛ آقاجفی، سیروس (۱۳۸۳)، بررسی تجربی کارایی دو طرح جدید بادگیر و مقایسه آنها با بادگیرهای سنتی، نشریه‌ی انرژی ایران، شماره ۲۱، سال نهم، صص ۱۴-۲۷.

زمرشیدی، حسن (۱۳۷۳)، اجرای ساختمان سنتی، انتشارات زمر، تهران.

شریعت زاده، علی اصغر (۱۳۷۴)، نقش بادگیر در ناحیه جنوبی دشت کویر، نخستین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران، کرمان، صص ۲۲۱-۲۳۱.

مزیدی، محسن؛ مزیدی، محمد (۱۳۸۷)، نام مقاله: نشریه انرژی ایران، سال ۱۱، شماره ۲۸، صص ۳۹-۴۶.

محمودی، بهناز؛ مفیدی شمیرانی، سیدمجید (۱۳۸۷)، تحلیلی بر گونه

Groat, Linda, wang, David (2002), *Architectural Research Methods*, John Wiley and Sons, England.

Kalantar, Vali (2009), Numerical simulation of cooling performance of wind tower in hot and arid region, *Renewable Energy*, Vol. 34, pp. 246-254.

Karakatsanis, C, Bahadori, M.N, Vickery, B.J (1986), Evaluation of air flow rates in buildings employing wind towers, *Solar Energy*, Vol. 37, No. 5, pp. 363-374.

Mahdavinejad, Mohammadjavad, Doroodgar, Amene, Mashayekhi, Mohammad (2012), Utilization of Wind Power as a Renewable Energy in Asbads, Case of Iran, Sistan, *Advanced Materials Research*, Vol. 433-440, pp. 1141-1145.

Mahmoudi Zarandi, Mahnaz (2009), Analysis on Iranian Wind Catcher and Its Effect on Natural Ventilation as a Solution towards Sustainable Architecture (Case Study: Yazd), World Academy of Science, *Engineering and Technology*, Vol. 54, pp. 574-579.

Montazeri, Hamid (2009), Experimental study on natural ventilation performance of a two-sided wind catcher, *Journal of Power and Energy*, Vol. 223, pp. 387-400.

Montazeri, H, Montazeri, F, Azizian, R, Mostafavi, S (2010), Two-sided wind catcher performance evaluation using experimental, numerical and analytical modeling, *Renewable Energy*, Vol35, pp. 1424-1435.

Ozay, Nazife2004(), A comparative study of climatically responsive house design at various periods of Northern Cyprus architecture, *Building and Environment*, Vol. 37, pp. 1003-1012.

Rubin, E.S. and C.I. Paridson (2002), *Introduction to engineering and environment*, McGraw Hill.

Swang, N.Y.C (1991), *Air flow in and around buildings*, Workshop on building energy management, Bangkok, pp. 17.

Yaghoubi, M.A (1975), Two-dimensional numerical simulation of wind flow and ventilation in a single building using the k-e turbulent model, *Iranian journal of science and Technology*, Vol 20, No 1, Transaction B, pp. 519-529.